Mitt. Bayer. Staatssamml. Paläont. hist. Geol. | 2 | 69—87 | München, 1. August 1962

Das Nördlinger Ries und die Meteortheorie

Von Richard Dehm, München

Mit 2 Abbildungen

Zusammenfassung

Einerseits liefert die Meteortheorie für das Ries die erforderliche hohe Energie, während die bisherigen vulkanischen Deutungen hiezu nicht ausreichen. Andererseits zeigt das Ries zeitlich und räumlich so enge Beziehungen zum jungtertiären Vulkanismus und zum Bau der Süddeutschen Großscholle, insbesondere zum „Miniaturries" Steinheimer Becken und zu den Uracher Vulkan-Embryonen, daß ein Meteoreinschlag an dieser Stelle und zu diesem Zeitpunkt einen höchst unwahrscheinlichen Zufall bedeuten würde. Weitere Untersuchungen sind nötig.

Summary

A Ries meteor impact would bring the necessary high energy which is not given by the different theories of a volcanic Ries origin. But the Ries belongs to the same short Upper Miocene period as the volcanoes of southern Germany, especially as the nearby located Steinheim Basin and the „cryptovolcanic" basalt and basalt tuff craters and pipes of Urach in Wurttemberg. Therefore a meteor impact on this very spot and at this very time seems most unlikely. Further studies are necessary.

Inhalt

Einleitung

Die Entdeckung des Minerals Coesit in Gesteinen des Nördlinger Rieses durch die nordamerikanischen Geologen E. C. T. Chao und E. M. Shoemaker (Pecora 1960, S. 19) in Washington hat in den letzten Jahren die Frage nach der Entstehung des Rieskessels neu belebt. Coesit, eine Hochdruckmodifikation des Quarzes, ist in der Natur zuerst im Arizona-Krater (Meteor Crater, Barringer

Crater), einer unzweifelhaften Meteor-Einschlagstelle von 1,2 km Durchmesser nachgewiesen worden (CHAO, SHOEMAKER & MADSEN 1960, S. 220—222). Dann wurde es auch im Wabar-Krater in Südarabien und im Ashanti-Krater in Ghana, gleichfalls unzweifelhaften Meteorkratern, gefunden, ferner im Sprengkrater einer unterirdischen Atombombe in Nevada.

Seit mehr als hundert Jahren kennt man das Nördlinger Ries als eine Stelle, an der sich im jüngeren Tertiär *außergewöhnlich starke Kräfte* ausgewirkt haben müssen; ganz besonders hat man es mit bekannten vulkanischen Sprengtrichtern, den Maaren, verglichen und in ihm die Wirkung einer eigenartig modifizierten vulkanischen Explosion gesehen. Der Nachweis von Coesit läßt nun wieder an einen Meteoreinschlag als Energiequelle denken; STUTZERS (1936, S. 510—523) Argumente zugunsten der Meteortheorie haben damals keine Anerkennung gefunden (u. a. KRANZ 1937, S. 198—202). Heute wird, im Zusammenhang mit der Aktualität atomarer Sprengkräfte, das Ries in zahlreichen Aufsätzen, auch in der Tagespresse, mit Meteorkratern in Verbindung gebracht oder ausdrücklich als solcher erklärt (u. a. PECORA 1960, S. 19; BEALS, INNES & ROTTENBERG 1960, S. 29; DIETZ 1961, S. 55—56).

Bei der langjährigen Berührung mit der Geologie des Nördlinger Rieses haben wir uns (SCHRÖDER & DEHM 1950, S. 134) auch die *Meteordeutung* vorgelegt; sie schien uns einen ganz undenkbaren *Zufallstreffer* zu postulieren und daher abwegig zu sein. Die Möglichkeit eines Meteoreinschlages ist auf der Erde überall und jederzeit gegeben; er besitzt keinerlei, weder zeitliche noch örtliche Beziehungen zum geologischen Bau seines Aufschlagsortes. Etwaige solche Beziehungen könnten nur scheinbar sein; ihr Zusammentreffen wäre zufälliger Natur. Taucht bei einem geologischen Problem die Möglichkeit meteoritischer Entstehung auf, dann erwächst dem Geologen die Aufgabe, nicht nur die positiven Spuren des Meteors zu suchen, sondern auch die Frage nach etwaigen zeitlichen und örtlichen Beziehungen zwischen der Katastrophe und ihrem Ort zu überprüfen. Zu einer ausführlicheren Beurteilung der Meteortheorie dürfte es daher geraten sein, zunächst die wesentlichen Ries-Phänomene zusammenfassend zu überblicken und dann die zeitlichen und örtlichen Beziehungen zu untersuchen.

Für freundliche Mitwirkung durch Literaturhilfe und Diskussion des Riesproblems bin ich den Herren Konservator Dr. K. W. BARTHEL, Prof. Dr. F. NEUMAIER, Prof. Dr. E. PREUSS, besonders über die Meteortheorie des Rieses, Prof. Dr. J. SCHRÖDER und Oberkonservator Dr. H. K. ZÖBELEIN, sämtliche in München, gerne zu Dank verbunden.

1. Die Ries-Phänomene

Einige auffallende Phänomene haben die erste Aufmerksamkeit auf das Nördlinger Ries gelenkt; die speziellen, für die Deutung aber nicht weniger wichtigen, sind erst im Laufe der weiteren Erforschung erkannt worden.

a) Die auffallenden Ries-Phänomene

1. Das Nördlinger Ries bildet eine angenäherte Kreisform von 21 bis 24 km Durchmesser mit einer Eintiefung von 40 bis 150 m Tiefe gegen seine unmittelbare Umgebung.

2. Innerhalb des Rieses und um das Ries herum bis 25 km vom Riesrand entfernt finden sich die Gesteine des kristallinen Untergrundes, des oberen Keupers, des unteren, mittleren und oberen Juras und des älteren Tertiärs ortsfremd aus ihrer ursprünglichen Lagerung gerissen, aufs stärkste zertrümmert und durchmengt oder auch noch als einzelne größere Schollen im Schichtverband geblieben und weniger zertrümmert. Wo es die Aufschlüsse rings ums Ries erkennen lassen, liegen diese Massen („Bunte Breccie", „Weißjura-Gries") ortsfremd auf geglätteter und riesauswärts geschrammter Unterlage. Die Volumenberechnungen, ob die sämtlichen Trümmermassen rings um das Ries aus dem Rieskessel stammen können, werden dadurch erschwert, daß sowohl über die Größe des ursprünglichen Sprengtrichters als auch über die Menge der ursprünglichen Schuttmassen gewisse Annahmen gemacht werden müssen; diese Voraussetzungen können so gewählt werden, daß die Volumina in der Größenordnung einander entsprechen. Setzt man aber einen verkleinerten Sprengtrichter und eine gleichmäßige Verteilung der Schuttmassen in allen Sektoren rings um das Ries voraus, dann reicht der Rieskessel nicht aus.

3. Echtes magmatisches Gestein fehlt; Reich (1955, S. 111—112) schließt aber aus starken magnetischen Anomalien auf Basaltströme in der Tiefe und auf einzelne Basaltschlote. Ein pseudovulkanisches Gestein, der Suevit, ist im Innern selten, in den Randgebieten an etwa 150 Stellen nachgewiesen worden; es enthält kein echtes Magma, sondern besteht aus zertrümmerten und angeschmolzenen, zum Teil verglasten Komponenten kristalliner Gesteine. Stellenweise, besonders in gedrehten Bomben und Lapilli, zeigt es schlierig-blasige Fließstrukturen. Der Suevit ist erst nach den Trümmermassen entstanden; er durchschlägt sie.

4. Der Rieskessel ist im Innern bis zu einer Tiefe von 250—320 m (Reich 1955, S. 47) und an den Rändern mit Süßwasserkalken, -mergeln und -tonen obermiocänen und zwar sarmatischen Alters erfüllt (vgl. S. 74).

b) Die speziellen Ries-Phänomene

5. Im Suevit und in den beanspruchten kristallinen Gesteinen befinden sich ungewöhnliche Mineralien: „wasserhelles isotropes Mineral" (Gümbel 1891, S. 204); „ein stark lichtbrechendes Mineral" (v. Ammon 1904, S. 173, 180, Abb. 14); „isotrop gewordener Feldspat", „Neubildungsprodukte von geschmolzen gewesenen Feldspaten", „dunkelgrünes Mineral", „farbloses Mineral" u. a. (Oberdorfer 1905, S. 18—23, Taf. 1); Coesit (Nachweis durch Chao und Shoemaker 1960).

6. Außer Suevit gibt es „Granitische Explosionsprodukte" (Branca 1903, 47—63); kristallines Gestein tritt fein zerstäubt als Gangfüllung in Kristallin oder auch in Weißjura auf.

7. Die Riestrümmermassen und die Suevit-Eruptionsstellen sind nicht gleichmäßig um das Ries verteilt, im Nordwesten und Norden viel weniger als im Süden und besonders Südwesten. Ob aber die REUTERschen Blöcke, aufgelagert auf Obere Süßwassermolasse zwischen Donau und Augsburg, aus dem Ries stammen, ist unbewiesen.

8. Aus dem Auftreten von fossilführenden Süßwassersedimenten des Tortoniums sowohl in den betroffenen, vorriesischen Gesteinen als auch in der nachriesischen Kesselfüllung ergibt sich das Alter der Rieskatastrophe als intratortonisch (vgl. S. 74).

9. Vor- und nachriesische Tektonik ist nachweisbar.

10. Eine nachriesische Abtragung und Ausräumung hat stattgefunden; sie war aber nicht so bedeutend, daß nicht die ursprüngliche Gestalt des Rieskessels und die vor- und nachriesischen Gesteine in großem Umfange erhalten geblieben wären.

11. Das Riesgebiet hat bereits vor der Rieskatastrophe als Ablagerungsraum für Gesteine gedient, die in den benachbarten Juragebieten wenig oder nicht vorhanden sind, so für oberoligocänen Süßwasserkalk und altobermiocänen Lepolith.

12. Der Ort des Rieses weist Beziehungen zum geologischen Bau innerhalb der Süddeutschen Großscholle auf (vgl. S. 79).

Die Erforschung des Nördlinger Rieses hat von Anfang an gezeigt, daß dort eine ganze Anzahl besonderer geologischer Phänome der Erklärung harren. Dabei hat es mehrfach geschehen können, daß eines oder wenige Phänomene überbetont und statt einer Gesamt- nur einer Teilerklärung zugeführt wurden. Die Entdeckung ortsfremder Massen auf geglätteter und riesauswärts geschrammter Unterlage führte zur Vorstellung eines Riesgletschers (C. DEFFNER, E. KOKEN). Die Betonung der gewaltigen Sprengung mit Sprengtrichter und riesauswärts geschleuderten und geschobenen Trümmermassen ringsum wurde zur Grundlage einer „reinen Sprengtheorie" (E. SUESS, W. KRANZ). Die seltsame Vergriesung der Oberjurakalke in Verbindung mit kleintektonischem Hackwerk in manchen Ries-Randgebieten ließ eine vorwiegend tektonische Deutung des Rieses mit alpinen Druckkräften entstehen (C. REGELMANN, R. SEEMANN). Für die Erforschungsgeschichte des Rieses waren alle diese Vorstellungen bedeutsam, da sie jeweils neue Phänomene ins Licht rückten und zu weiteren, genaueren Beobachtungen vielseitig anregten. Beeindruckt von der Vielfalt der Erscheinungen entwickelten W. BRANCA & E. FRAAS eine weniger einfache „Hebungs-Explosions-Theorie", mit „örtlichen Aufbrüchen", die auch J. SCHRÖDER und der Verfasser ihrer Erklärung zugrunde legten.

2. Die Meteortheorie

Beim gegenwärtigen Stand der Diskussion um die Entstehung des Rieses liegt das Hauptgewicht auf denjenigen Beobachtungen und Überlegungen, welche als Kriterium für einen Meteorkrater dienen können:

Kreisform.
Hochdruck-Mineralien
Zertrümmerung und Überschiebungen
Pseudovulkanisches Gestein (Suevit)
Energiebilanz.

Zwar ist das Ries schon durch O. STUTZER (1936, S. 510—523) als Meteorkrater gedeutet worden, zwar wurden in der Riesdiskussion mehrfach Meteorkrater und ihnen ähnliche Kreisstrukturen zum Vergleich herangezogen: Serpent Mound, Arizona-Krater u. a. in Nordamerika, Vredefort-Bergland in Südafrika, Köfels in Tirol (vgl. KRANZ 1937a, 198—202; 1938, 113—138; 1949, 159—160). Aber jetzt erst erhält durch die exakten Fragen nach der Höhe der erforderlichen Energie, der Drucke und der gesamten Energiebilanz der Vergleich des Rieses mit Meteorkratern Bedeutung. Die bisherigen Vorstellungen über die Energiebilanz bei vulkanischen Explosionen bleiben demgegenüber unzureichend und sind zu überprüfen. Ganz augenscheinlich aber kann die Meteortheorie des Rieses die Höhe des Energiebetrages und die Art seiner Vernichtung liefern. Sie erklärt die Kreisform, sie liefert die momentane Energie für die Hochdrucke zur Coesitbildung und Vergriesung und zu den Überschiebungen und das pseudovulkanische Aufschmelzen der kristallinen Gesteine zum Suevit. Bei der Annahme eines schrägen Auftreffens aus NNO nach SSW könnte auch die von einigen betonte, von anderen bestrittene Unsymmetrie in der Verteilung von Trümmermassen und Sueviten, nämlich ihr Vorwiegen im Süden und Südwesten (SCHRÖDER & DEHM 1950, S. 127—130, Abb. 3) eine Erklärung finden.

So sehr diese wesentlichen Punkte zugunsten der Meteortheorie des Rieses sprechen, ist es doch erforderlich, den Gesamtkomplex der Phänomene im Auge zu behalten. Denn Meteoreinschläge zeichnen sich durch zweierlei aus:

1. Sie sind von außen kommende Ereignisse, ohne jede Beziehungen zu den geologischen Strukturen des Einschlagortes. Lediglich die Art der Auswirkungen der Meteor-Energie könnte durch die am Ort gegebenen Strukturen und Gesteine modifiziert werden.

2. Solch große Meteoreinschläge, daß sie geologisch erkennbare Wirkungen hervorbringen, sind äußerst seltene Ereignisse; an sicheren oder vermuteten Vorkommen stellt R. S. DIETZ (1961, S. 54—55) für Nordamerika 27 zusammen, für Europa 3 (Ries, Steinheim, Krater Sall auf Ösel; dazu käme noch Köfels in Tirol, KRANZ 1937c, S. 50—55), für Afrika mit Arabien 4, für Australien 4. Aus dem (nach anderen unzulässigen) Vergleich mit der Dichte der Mondkrater schließt DIETZ (S. 51) aber auf eine Zahl von 50000 Riesenmeteoriten auf der Erde während der letzten 500 Millionen Jahre. Das würde bedeuten, daß bei 500000000 qkm Erdoberfläche 1 Riesenmeteor auf 10000 qkm käme, also auf Nordamerika 2400, auf Afrika 2980, auf Europa 1000 usw., ganz offensichtlich das unrichtige Ergebnis einer Rechnung mit unzutreffenden Voraussetzungen. Selbst bei aller Berücksichtigung der Abtragung können große Meteoreinschläge nur ganz vereinzelte Ereignisse gewesen sein. Auch aus den Ausführungen von

Dietz (1961, S. 58) über die möglichen fürchterlichen Folgen, die der Einschlag eines Riesenmeteors im Meere haben müßte, geht dies hervor; ein solcher Einschlag in der Mitte des Atlantischen Ozeans könnte nach Dietz eine Flutwelle von 20000 Fuß (= 6650 m) Höhe erzeugen. Als Folgen einer solchen Katastrophe könnte man sich allenfalls so seltene Bildungen wie Wildflysch und ähnliche Sedimente vorstellen. Aber nach der Schätzung von Dietz müßten während der letzten 500 Jahrmillionen, d. i. seit dem Kambrium, auf die 361000000 qkm umfassenden Ozeanflächen 36100 Riesenmeteore niedergegangen sein.

Das Ries ist der weitaus überwiegenden Zahl der bisherigen Betrachter nicht als ein isoliertes, zur Umgebung beziehungsloses Gebilde erschienen. Im Gegenteil, zeitliche und örtliche Beziehungen schienen von Anfang an gerade beim Nördlinger Ries so ausgesprochen gegeben zu sein, daß es immer wieder nicht nur mit dem jungtertiären Gesamtvulkanismus von Mitteleuropa, sondern auch mit den seit Beginn des Mesozoikums geprägten Großstrukturen des geologischen Baues von Süddeutschland in Zusammenhang gebracht worden ist.

3. Der Zeitpunkt der Rieskatastrophe und die Zeiten des Vulkanismus in Süddeutschland

Das Nördlinger Ries gehört zu den wenigen fossilen Trichtern, bei denen das geologische Alter mit großer Genauigkeit angegeben werden kann. Es muß jünger sein als alle betroffenen Gesteine und älter als alle nicht betroffenen. Als bisher jüngster Bestandteil der bei der Katastrophe entstandenen Bunten Trümmermassen ist ein Landschnecken führender Lepolithkalk ermittelt worden; er gehört dem älteren Obermiocän, dem Tortonium, an; an etwa 50 Stellen, besonders im Westen und Osten des Rieses, ist er gefunden worden.

Nach der Katastrophe ist der Rieskessel von limnischen Gesteinen erfüllt und besonders an den Rändern von fossilführenden Süßwasserkalken ausgekleidet worden. Fossilfunde werden von rund 70 Stellen genannt; einige davon, Spitzberg bei Appetshofen, Adlerberg bei Nördlingen, Goldberg bei Pflaumloch, Trendel bei Ursheim, haben artenreiche Faunen geliefert, die in das jüngere Obermiocän, in das Sarmatium, gehören. Das Riesereignis ist demnach bisher zwischen älterem und jüngerem Obermiocän eingestuft worden.

Bei der pollenanalytischen Untersuchung des Bohrprofils Deiningen I in der limnischen Füllung des Rieskessels fand nun Rein (1961, S. 165) die Probe aus Teufe 110 m dem Sarmatium zugehörig, diejenige aus Teufe 250 m aber dem Tortonium. Danach wäre die Rieskatastrophe innerhalb des Obermiocäns etwas früher, vor die Wende Tortonium/Sarmatium, nämlich in das jüngere Tortonium einzustufen.

Süddeutschland hat nach dem Rotliegend-Vulkanismus der variszischen Ära des Spät-Paläozoikums nur noch einmal eine vulkanische Periode durchgemacht, und zwar im jüngeren Tertiär. An zahlreichen Stellen hat sich aus der strati-

graphischen Lage, aus fossilführenden Tuffen, Maarfüllungen u. a. das genauere Alter ermitteln lassen. Danach dauerten die vulkanischen Vorgänge vom (Aquitanium?) Burdigalium bis in das Pontium.

Eine Reihe von Vulkangebieten zieht durch das nördliche Süddeutschland. Beim Vogelsberg, der größten Vulkanmasse des Gebietes, spricht die Fauna „eher für älteres Miozän (Burdigal/Helvet), weniger für Torton/Sarmat" (Tobien 1954, S. 588). Die Rhön-Basalte und -Basalttuffe können in das Tortonium und Sarmatium eingestuft werden (Schuster VI, S. 137—139). Die Serie der oberpfälzisch-oberfränkischen Vulkane vom Hohen Parkstein bei Weiden, Rauhen Kulm bei Neustadt am Kulm u. a. steht über den Reichsforst mit dem nordböhmischen Basaltgebiet in Verbindung, dessen Alter als oberoligocän bis obermiocän (und pleistocän?) gilt. Mangels Beziehungen zu fossilführenden Tertiärgesteinen kann das Alter einzelner kleinerer Basalte, Phonolithe und zugehöriger Tuffe nicht enger eingegrenzt werden: Basalte und Phonolithe von Aschaffenburg (Obermiocän-Pliocän), Basalte des Grabfeldes, Basalt von Oberleinleiter bei Heiligenstadt und Basalte bei Kulmbach; diese Vorkommen gleichen in ihrem Auftreten und Gesteinscharakter den anderen, nur fehlen mangels begleitender fossilführender Ablagerungen die Möglichkeiten zur Altersbestimmung; es liegt aber kein Grund vor, sie nicht den übrigen jungtertiären Vorkommen gleichzustellen.

Im südlichen Süddeutschland zieht sich eine Reihe von Vulkangebieten von Südwesten auf die Mitte hin: Kaiserstuhl, Hegau-Vulkane, Uracher Vulkan-Embryonen, und in deren Fortsetzung, aber frei von echten vulkanischen Gesteinen, das Steinheimer Becken und das Nördlinger Ries. Diese fünf Gebilde sind gelegentlich als eine genetisch zusammenhängende Reihe aufgefaßt worden, z. B. als der „Südrheinische Vulkanbogen" (Cloos 1939, 473—477); doch haben der Kaiserstuhl und die Hegau-Vulkane nicht ganz übereinstimmendes Alter.

Der Kaiserstuhl im Oberrheingraben ist frühmittelmiocän, burdigal, vielleicht auch aquitan (Tobien 1958, S. 4—5), nicht obermiocän wie früher vermutet. Der dem Kaiserstuhl nächst gelegene Limberg gehört ins Jungburdigalium (Tobien 1958, S. 4—5).

Bei den Hegau-Vulkanen enthalten limnische Schichten, in die Tuffe und Tuffite eingeschaltet sind, u. a. die bekannte obermiocäne, wohl sarmatische, Fauna und Flora von Öhningen am Schienerberg und die reiche unterpliocäne Fauna vom Höwenegg; die vulkanische Tätigkeit dauerte hier also vom jüngeren Tortonium bis zum Pontium.

Die etwa 185 Uracher Vulkan-Embryonen bilden eine auf der Erde wohl einzigartige Gruppe von Maaren, Maarresten, Gängen und Stümpfen (Branco 1894, S. 505—997; 1896, S. 1—337; Cloos 1942, S. 705—800; Gg. Wagner 1956, S. 108—126). Sie entstammen dem in der Tiefe steckengebliebenen „Schwäbischen Vulkan" (Cloos); wenn es auch keine übereinstimmende Gruppe gibt, so lassen sich nach Cloos (1942, S. 790—794) doch gewisse Vergleiche durchführen: mit Vulkanschloten in Missouri und in Schottland, besonders aber

in der Gestalt der Einzelschlote und im Vorkommen von großen Sinkschollen innerhalb der Schlote mit den Kimberlitschloten von Südafrika. Einige der Uracher Maare, wie das Randecker Maar, die Maare von Böttingen, Hengen, Laichingen und Würtingen enthalten fossilführende limnische Ablagerungen obermiocänen Alters; besonders die Fauna von Laichingen ist artenreich und enthält nur Arten, die auch in Steinheim vorkommen (BRANCO 1895, S. 187—188); sie ist also sarmatischen Alters. Das Maar selbst muß kurz vorher, an der Wende Tortonium/Sarmatium oder im jüngeren Tortonium entstanden sein. Gründe, für die anderen Uracher Vulkan-Embryonen andere Bildungszeit anzunehmen, liegen nicht vor.

Das Steinheimer Becken bei Heidenheim an der Brenz stellt mit 2,5 km Durchmesser eine „Miniaturausgabe des Rieskessels bei Nördlingen" dar (GÜMBEL 1891, S. 185); es wurde zusammenfassend durch KRANZ, BERZ & BERCKHEMER (1924, S. 1—138) bearbeitet. Wie das Ries zeigt es Transport älterer Formationen aus der Tiefe in die Höhe des Oberen Weißen Juras, Gesteinszertrümmerung und Fehlen eines vulkanischen Gesteins. Im Steinheimer Becken kommt Strahlenkalk (shatter cones) vor und wird u. a. von DIETZ (1961, S. 53) als Hinweis auf einen Meteoreinschlag gewertet, ebenso wie ROHLEDER (S. 463—468) das Steinheimer Becken aus anderen Gründen als Meteorkrater betrachtet hat, worin ihm KRANZ u. a. nicht gefolgt sind. Das Becken enthält eine Serie von Süßwasserschichten, die durch ihren Reichtum an Säugetierresten und Land- und Süßwassermollusken berühmt ist. Die Hauptfauna gehört in das Sarmatium. Sichere Hinweise, daß die tiefsten Schichten, die Kaltwasserschichten, nicht in das Sarmatium, sondern in das Tortonium einzustufen sind, haben sich nicht ergeben. Da sich wohl auch hier der Kessel alsbald nach seiner Bildung mit Wasser gefüllt hat, muß seine Entstehungszeit auf die Wende Tortonium/Sarmatium, allenfalls jüngeres Tortonium angesetzt werden, wie bei den Uracher Vulkan-Embryonen.

In der Verlängerung der Reihe Hegau — Urach — Steinheim liegt schließlich das Nördlinger Ries, gleichfalls von obermiocänen und zwar sarmatischen Süßwasserschichten erfüllt.

Spuren eines jungtertiären Vulkanismus haben sich auch im voralpinen Molassegebiet zwischen Alpen und Donau gezeigt. Die von Malgersdorf in Niederbayern über Landshut und Augsburg nach Krumbach in Schwaben verfolgbaren Bentonite entstammen einem noch nicht lokalisierten Vulkanismus des Molassegebietes (LEMCKE, v. ENGELHARDT & FÜCHTBAUER 1953, S. 73—75); bis in die Schweiz haben sich die Bentonite nachweisen lassen (PAVONI 1958, 299—304). Sie halten sich innerhalb der Oberen Süßwassermolasse mit einer oder zwei Lagen etwa an die Grenze Tortonium/Sarmatium. Etwa in dem gleichen Niveau, im Oberen Tortonium, befindet sich bei Gallenbach nordöstlich von Augsburg ein „vulkanischer Brockhorizont" mit Auswürflingen jungmesozoischer Gesteine (STEPHAN 1952, S. 76—85; vgl. auch BÜCHI & HOFMANN 1945, S. 337—343). NATHAN (1957, S. 139—140) hat in der Bohrung Tuchfabrik Busse in Nördlingen innerhalb der obermiocänen Riessee-Sedimente in 34,5 m Teufe

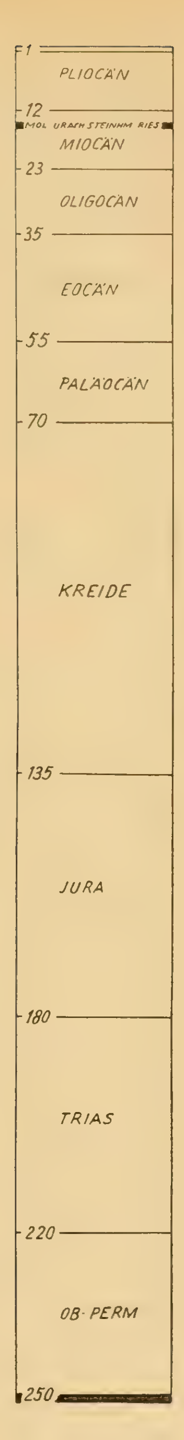


Abb. 1: Das Nördlinger Ries in der Zeittabelle zwischen Perm-Vulkanismus und heute; es fällt in den gleichen kurzen Zeitausschnitt wie die Molasse-Bentonite (MOL), die Uracher Vulkan-Embryonen (URACH) und das Steinheimer Becken (STEINHM). Zeitmaß in Jahrmillionen nach Kulp (1960, S. 23).

eine mindestens 10 cm mächtige Lage von Bentonit festgestellt; daraus ergibt sich, daß einerseits die Bentonite des Molassegebietes nicht der Rieskatastrophe entstammen, daß sie ihr aber andererseits zeitlich sehr rasch gefolgt sind.

Die Rieskatastrophe, während des Tortoniums, fällt also in die jungtertiäre Hauptzeit des mitteleuropäischen Vulkanismus vom Oberoligocän bis zum Mittelpliocän. Zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeiten des Zusammentreffens der verschiedenen Vorgänge seien die absoluten Jahreszahlen für die Zeiträume betrachtet (Abb. 1); dabei werden die Angaben nach Kulp (1960, S. 23) zugrunde gelegt. Seit dem Vulkanismus des ausgehenden Rotliegenden, dem letzten vortertiären des Gebietes, sind $250 \cdot 10^6$ Jahre bis heute anzusetzen. Die Gesamtreichweite des tertiären Vulkanismus umfaßt in Mitteleuropa Ober-Oligocän bis etwa Mittel-Pliocän, das sind etwa $21 \cdot 10^6$ Jahre; in diesen Ausschnitt von 8,4% der Gesamtzeit fällt auch die Rieskatastrophe. Vergleicht man aber, was natürlicherweise richtiger ist, mit dem Ries die ihm nächstgelegenen Vorkommen, nämlich das Steinheimer Becken, die Uracher Vulkanregion und die Bentonite der Oberen Süßwassermolasse, so engt sich der gemeinsame Zeitraum auf das Tortonium und zwar unter Ausschluß dessen unteren Teils ein. Setzt man das Miocän auf 11 Jahrmillionen an und rechnet für jede der 5 Stufen Aquitanium — Burdigalium — Helvetium — Tortonium — Sarmatium durchschnittlich 2,2 Jahrmillionen, so treffen auf das halbe Tortonium 1,1 Jahrmillionen. Das heißt also: in eine Zeitspanne, die nur 0,44% der ganzen Zeit umfaßt, fallen sowohl die Uracher Vulkaneruptionen, die Entstehung des Steinheimer Beckens und die Eruptionen der Bentonite als auch die Rieskatastrophe.

Das zeitliche Zusammentreffen des Riesereignisses mit dem obermiocänen Vulkanismus würde natürlich dann an Gewicht verlieren, wenn eine solche Katastrophe im Gebiet nicht einmalig, sondern mehrmals, zeitlich und räumlich gestreut, nachweisbar oder wenigstens angedeutet wäre. Die geologischen Gegebenheiten wären in Süddeutschland für einen solchen Nachweis nicht gerade ungünstig. Mindestens seit der Zeit des Oberen Jura haben große landfeste Flächen frei gelegen; Trichter und Schütterzonen in der Art des Rieses müßten auch bei Abtragung mehrerer hundert Meter Gesteins noch erkennbar geblieben sein. Reliktgesteine aus Trias, Jura und Kreide spielen ja in der Landschaftsgeschichte Süddeutschlands eine große Rolle. Auch aus vorjurassischer Zeit wären in Süddeutschland meines Erachtens in den zum Teil seit dem Tertiär freigelegten Buntsandstein- und Keupergebieten noch manche Möglichkeiten gegeben, Spuren solcher Katastrophen anzutreffen. Wie allgemein bekannt, hat sich bisher keinerlei Hinweis auf weitere Riese, auch nicht auf viel kleinere, ergeben.

Das Nördlinger Ries ist ein für Süddeutschland einmaliges Ereignis, allenfalls mit dem „Miniaturries" von Steinheim vergleichbar. Zeitlich trifft es ganz eng mit der Hauptphase des mitteleuropäischen Tertiärvulkanismus zusammen, ebenso wie das Steinheimer Becken und die gleichfalls einmaligen Uracher Vulkan-Embryonen. Das Nördlinger Ries ist also in einer besonderen und nicht zu übersehenden Weise zeitlich in den jungtertiären Vulkanismus einbezogen.

4. Der Ort der Rieskatastrophe in der Süddeutschen Großscholle

Das Nördlinger Ries befindet sich etwa in der Mitte der heutigen „Südwestdeutschen Großscholle“ (CARLÉ 1952, Taf. 1, Fig. 4—9), diese bildet ein großes, fast gleichseitiges Dreieck mit 450 km Seitenlänge; Nordwestseite = Oberrheingraben und Hessische Senke als Teil der Mittelmeer-Mjösen-Zone, Nordostseite = die ostbayerischen variszischen und prävariszischen Grenzgebirge; Südseite = Nordalpen (Abb. 2). In dieser Großscholle spielen drei tektonische Richtungen eine Rolle: die rheinische, SSW-NNO, nur im Westteil, die schwäbische, WSW-ONO, besonders im Kerngebiet, die hercynische, NW-SO, verstreut über das ganze Gebiet.

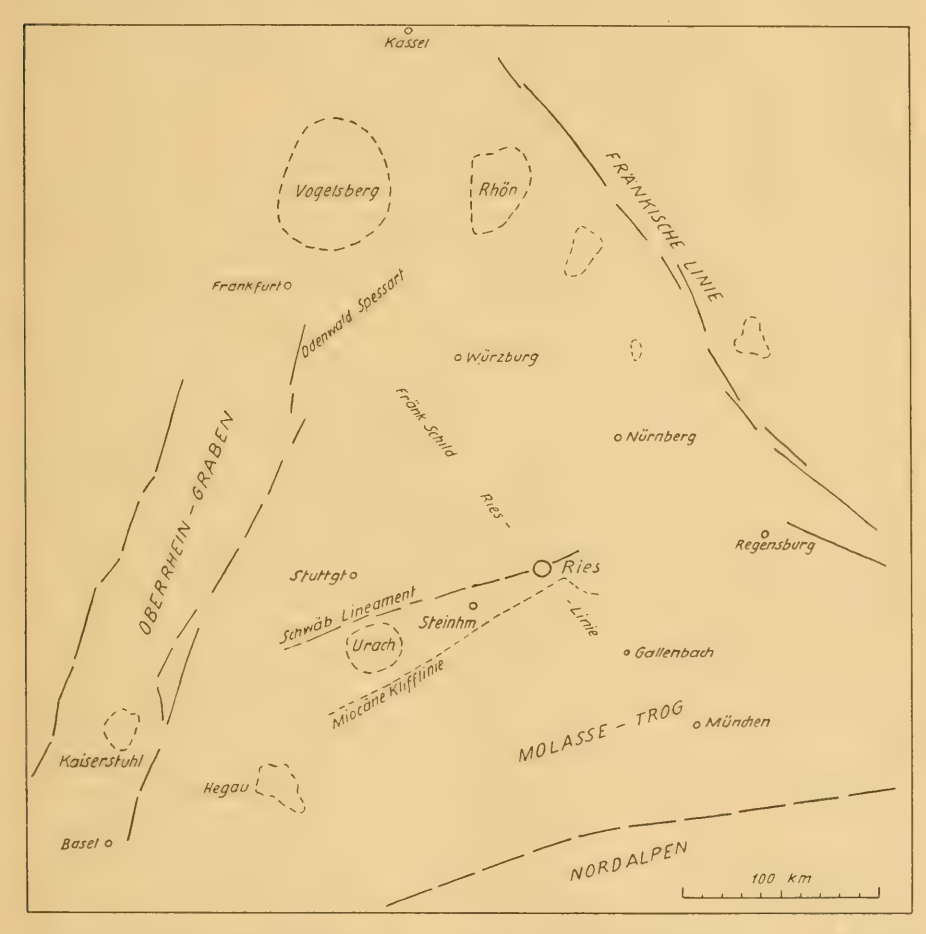


Abb. 2: Lageskizze des Nördlinger Rieses in der Süddeutschen Großscholle. Die jungtertiären Hauptvulkangebiete sind umstrichelt. Der Skizze liegen zugrunde die Angaben und Kartenskizzen von BREYER 1956, CARLE 1950, besonders CARLE 1952, SCHMIDT-KALER 1961, SEIBOLD 1951 und STEPHAN 1952.

a) Der Ort der Rieskatastrophe zeigt sich mehrfach mit der schwäbischen WSW-ONO-Richtung verbunden. Zunächst durch das Schwäbische Lineament, die wichtigste lineare Struktur Württembergs (Seibold 1951, S. 285—324); es fällt nach Seibold mit dem zentraleuropäischen Hauptscheitel zusammen und ist als eine präriesisch durchgepauste variszische Tiefenstruktur zu verstehen; der Westrand des Rieses schneidet das Lineament ab; am Ostrand hat sich die Fortsetzung gefunden (Schmidt-Kaler 1961, S. 192). Das Nördlinger Ries liegt also nicht nur im Mittelpunkt der Süddeutschen Großscholle, sondern zugleich auf deren wichtigster WSW-ONO-Linie. Bereits in der Oberfläche des Varistikums, wie es die seismischen Messungen erkennen lassen, zeichnet sich die WSW-ONO-Richtung ab; vom mittleren Schwarzwald zieht nach Ostnordosten eine Reihe von Einmuldungen unter dem Uracher und Steinheimer Gebiet zum „Buckel" des Rieses (Breyer 1956, S. 33, Abb. 6). Die WSW-ONO-Richtung bedeutet ja in Süddeutschland seit mesozoischen Zeiten die Richtung der variszisch geprägten Vindelizischen Schwelle, die die alpin-mediterrane Geosynklinale vom epikontinentalen Sedimentationsraum der Germanischen Trias trennte. Das Gebiet des Nördlinger Rieses lag daher während des Mesozoikums zeitweise auf der Schwelle und bildete vom Buntsandstein bis zum Mittleren Keuper gegenüber dem germanischen Sedimentationsbecken im Norden und Nordwesten ein sedimentationsfreies Hochgebiet. Vom Oberen Steinmergelkeuper bis zum Oberen Weißen Jura war es in den germanischen Sedimentationsraum einbezogen. Nach der Trockenlegung während Kreide und Alttertiär, zusammen mit dem Hauptteil des übrigen Gebietes, bildete es im jüngeren Tertiär das Hochgebiet gegen Süden und Südosten, gegen das Molassebecken; die Klifflinie des mittelmiocänen Molassemeeres verläuft hart südlich des Rieses in der schwäbischen WSW-ONO-Richtung; ebenso reicht die Obere Süßwassermolasse von Südosten eben an das Riesgebiet. Parallel zur Klifflinie und nach Ostnordosten darüber hinaus bildet die das Absinken der Juraplatte bezeichnende „Donau-Flexur" den Südrand des Vorrieses und zugleich den generellen Nordrand des Molassebeckens gegen den Schwäbischen und den südlichen Fränkischen Jura. Die WSW-ONO-Linie durch das Riesgebiet bildet also zugleich eine die Sedimentation seit dem Mesozoikum bestimmende Kippungsachse bzw. ein Scharnier.

Die gleiche WSW-ONO-Richtung wird auch von der Reihe Uracher Vulkan-Embryonen über Steinheimer Becken zum Nördlinger Ries eingehalten, wobei noch die bekannte Abnahme der Magmaförderung und Zunahme der explosiven Erscheinungen den Eindruck einer Reihe verstärken, zumal wenn man die Hegau-Vulkane einbezieht.

In WSW-ONO-Richtung zieht die bedeutende magnetische Anomalie vom Uracher Gebiet zum Steinheimer, erreicht aber das Ries nicht; dort erscheinen Anomalien, die nach Reich (Reich & Horrix 1955, S. 111—112) „mit basaltischen Ergußsteinen in Beziehung gebracht werden müssen".

b) Der Ort der Rieskatastrophe wird nun aber noch dadurch betont, daß er auch auf einer hercynischen, NW-SO-Linie liegt, die seit den Untersuchun-

gen von Gg. Wagner am fränkischen Muschelkalk (1913, S. 445—447) im paläogeographischen Bild Süddeutschlands mehrmals eine Rolle spielt; es ist ein von der Vindelizischen Schwelle über das Riesgebiet nach Nordwesten laufender Sporn, die Gammesfelder Barre, wie sie Gg. Wagner bezeichnet hat. Im Bild des varistischen Untergrundes des schwäbisch-fränkischen Triaslandes tritt sie bereits hervor; die „Ries-Tauber-Barre“ zieht in SO-NW-Richtung gegen den Spessart und bildet das beherrschende SO-NW-Element des paläogeographischen Bildes (Breyer 1956, S. 33, Abb. 6). Als „Riesbarre“ macht sie sich während des Mesozoikums mehrmals durch Sedimentationslücken und durch Faziesänderungen in ihrer Umgebung bemerkbar (P. Dorn 1937, 1—44). Der Oberste Weiße Jura ist nur im Südlichen Fränkischen Jura bei Neuburg an der Donau erhalten geblieben; vielleicht war er weiter südwestlich, im Schwäbischen Jura, infolge Hebung dieses Gebietes gegenüber dem nordöstlichen, schon gar nicht mehr abgelagert worden. Nach der Trockenlegung der ganzen Schichttafel in der Unterkreide bleibt jedenfalls auch während der Oberkreide der Westen sedimentfrei; von Osten her reicht das Oberkreide-Meer eben noch an das Gebiet des Nördlinger Rieses heran. Also im Osten des Rieses Sedimentationsgebiet, im Westen Hochgebiet. Dieses Verhältnis kehrt sich im Tertiär um; von Südwesten her greifen Ausläufer der Molasse-Sedimentation bis in das Riesgebiet, während der Südliche Fränkische Jura östlich des Rieses davon zunächst frei bleibt. Die Untere Süßwassermolasse reicht von Ulm her mit chattischen Süßwasserkalken bis zum Ries und ein Stück nach Norden darüber hinaus bis Treuchtlingen (W. Wagner 1960, S. 137—138), aber nicht nach Osten auf den südöstlichen Teil des Fränkischen Jura. Desgleichen läuft die mittelmiocäne Klifflinie auf über 120 km aus Südwesten bis nahe an das Ries heran und biegt unmittelbar südöstlich des Rieses, bei Harburg, nach Südosten ab, so daß der südliche Fränkische Jura mit Ausnahme der unmittelbaren Umgebung von Donauwörth (Schetelig 1960) vom mittelmiocänen Meer nicht mehr berührt wird. Während des Obermiocäns kommt es zu einem Ausgleich; die Obere Süßwassermolasse reicht mit kalkiger Randfazies sowohl auf den Schwäbischen wie auf den südlichen Fränkischen Jura jeweils randlich hinauf. Für das Obere Pliocän und Pleistocän ist wieder bemerkenswert, daß die dem Riesbereich zugehörige und die alte NW-SO-Richtung einhaltende Wörnitz zusammen mit der nahen Altmühl das Gefälle nach Südosten zur Donau hat beibehalten und damit dem jungen Angriff des Rhein-Systems bis heute hat trotzen können. Das junge tektonische Element im heutigen schwäbisch-fränkischen Triasgebiet ist der Fränkische Schild, nordwestlich des Rieses gegen den Spessart zu, gleichfalls auf der SO-NW-Linie gelegen. Stephan (1952, S. 80—82, Abb. 2) verlängert die „Ries-Linie“ vom Odenwald-Spessart-Schild über den Fränkischen Schild und das Nördlinger Ries nach Südosten weiter zum „Augsburger Hoch“ (Reich 1949, S. 81—87), in welchem auch der Eruptionsherd für den vulkanischen Brockhorizont von Gallenbach zu vermuten ist.

Die NW-SO-Linie durch das Riesgebiet bezeichnet also gleichfalls, wie die WSW-ONO-Linie, eine höchst bedeutsame, seit dem Varistikum immer

wieder bis in das Känozoikum bemerkbare Achse für Schaukelbewegungen innerhalb des süddeutschen Sedimentationsraumes, „das Scharnier für die oft gegenläufigen Bewegungen der so ähnlich gebauten Albteile beidseits des Rieses“ (Carlé 1950, S. 20).

c) In einem weiträumigen, in den Tiefenstrukturen begründeten Zusammenhang mit den vulkanischen Bildungen in West- und Süddeutschland hat als erster Deecke (1925, S. 96—111) das Nördlinger Ries gesehen; er kann durch ein überraschend einfaches System von Geraden und Kreisen auf der Karte die Vulkan- und Thermengebiete Mitteleuropas miteinander in Verbindung bringen. Dreißig solcher Beziehungen führt er auf; bei sieben davon ist das Ries beteiligt. „Als Schluß ergibt sich also, daß im Innern der Erdkruste großzügige einfache Gesetze die Struktur beherrschen. Wir kommen immer wieder auf das Sechsecksystem zurück mit seinen regelmäßigen Winkeln und mit seinen geometrisch ähnlichen, nur im Maßstabe verschiedenen Figuren“ (Deecke, S. 110). Unabhängig davon führt Cloos (1939, S. 479, 516) den mitteleuropäischen Vulkanismus auf Projektion von Tiefenspalten in die Oberkruste zurück, „die nach Größenordnung und Richtung dem ganzen Krustenfeld zugeordnet und daran erkennbar sind“. In den älteren Krustenstreifen seiner mitteleuropäischen Beispiele findet Cloos den Abstand der vulkanischen Tiefenspalten in der Größe von 85 bis 90 km; das Ries betrachtet er als Teil des „Südrheinischen Vulkanbogens“ Kaiserstuhl — Hegau — Urach — Ries: „Die viel umstrittene große, seichte Hohlform des Ries schließt den Bogen gegen Osten, und zwar in wiederum 85 km Abstand, was allein schon eine andere Entstehung als die vulkanische überaus unwahrscheinlich macht“ (Cloos, S. 476—477). Carlé (1952, S. 64, Taf. 1, Fig. 4) vereinigt in seiner Darstellung der Süddeutschen Großscholle die Reihe Kaiserstuhl — Hegau — Urach — Ries, bei je 90 km Abstand, mit einem System von 60 km-Abständen der hercynischen Störungen und mit der nördlichen Vulkanreihe Vogelsberg — Rhön — Grabfeld — Oberleinleiter — Oberpfalz, die gleichfalls je im Abstand von 60 km aufeinanderfolgen. Allen drei Autoren, Deecke, Cloos und Carlé, erscheint das Ries räumlich untrennbar mit dem süddeutschen Vulkanismus verbunden.

Der Ort der Rieskatastrophe erscheint also gegenüber den geologischen Strukturen seiner Umgebung nicht als ein ganz beliebiger. Im Gegenteil, er liegt im Schnittgebiet der beiden bevorzugten, seit dem Varistikum bis heute erkennbaren Bewegungsachsen. Diese Besonderheit der Lage wird dadurch verstärkt, daß sich dem Ries zwei weitere, auf der Erde anscheinend einzigartige, mit dem Ries gleichaltrige Gebilde, das „Miniaturries“ Steinheimer Becken und die Schar der Uracher Vulkan-Embryonen, in der dichten Folge von 42 bzw. 53 km ihrer Mittelpunkte anreihen.

d) Diese Darlegungen über die besondere Lage des Nördlinger Rieses innerhalb des geologischen Baues von Süddeutschland mögen dazu reizen, nach ähnlich markanten Punkten zu suchen. Überblickt man mit solchen Augen das ganze Gebiet nochmals, so könnte man schon einige weitere Stellen für be-

sondere Ereignisse prädestiniert sehen, etwa die Ecken des Großdreiecks der süddeutschen Scholle oder im Oberrheingraben das Mainzer Becken vielleicht nicht weniger als die Ausbruchsstelle des Kaiserstuhl-Limberg-Vulkans oder auch das Dreiländereck von Molasseland, Jurazug und Altem Gebirge beim nördlichsten Punkt der Donau nahe Regensburg. Selbst wenn man diese oder einige andere Punkte intensiver betrachten würde, ergäbe sich wohl nur ein entfernter Vergleich mit dem Riespunkt. Die allgemeine Erwägung, daß sich angesichts der oft wechselvollen geologischen Vergangenheit schließlich für jeden beliebigen Punkt geologische Besonderheiten finden lassen möchten, könnte jedenfalls hier keine Bestätigung erhalten. Dem Ort der Rieskatastrophe kommt — nach dem Dargelegten — eine besondere, man könnte sagen, einmalige Lage innerhalb der Süddeutschen Großscholle zu.

5. Ergebnis

Die Erörterung der Frage, ob Zeit und Ort der Rieskatastrophe irgendwelche Beziehungen zu den geologischen Gegebenheiten des Gebietes aufweisen, führt also zur Bejahung. Die Rieskatastrophe fällt in den gleichen engen Zeitabschnitt vom jüngeren Tortonium bis zum Beginn des Sarmatiums wie die Entstehung des Steinheimer Beckens, der Uracher Vulkan-Embryonen und der Bentonite des süddeutsch-schweizerischen Molasselandes; alle vier genannten Ereignisse reihen sich außerdem in den zeitlichen Rahmen des mitteleuropäischen Tertiärvulkanismus zwanglos ein (Abb. 1). Der Ort der Rieskatastrophe fällt zusammen mit dem Kreuzungspunkt der beiden paläogeographisch ausgezeichneten WSW-ONO- und NW-SO-Bewegungsachsen und Scharnierlinien der Süddeutschen Großscholle und mit deren Mitte; dabei wird die WSW-ONO-Richtung noch dadurch hervorgehoben, daß sich auf ihr die beiden gleichfalls in ihrer Art einmaligen Gebilde der Uracher Vulkan-Embryonen und des Steinheimer Beckens zusammen mit dem Ries aufreihen (Abb. 2).

Die zeitliche und räumliche Verknüpfung des Rieses mit dem Steinheimer Becken und Uracher Vulkangebiet erscheint so eng, daß man kaum ohne die Annahme auskommt, allen drei Gebilden müsse der wesentliche Faktor ihrer Genese gemeinsam sein. Wenn sich dieser Faktor beim Ries als Meteorwirkung erweist, gilt diese auch für Steinheimer Becken und Uracher Vulkangebiet. Am konsequentesten hat solche Gedanken J. Kaljuwee verfolgt („Die Großprobleme der Geologie“ Verlag F. Wassermann, Tallinn-Reval 1933; zitiert nach Kranz 1937, S. 201; die Veröffentlichung selbst hat mir nicht vorgelegen); er erklärt Ries und Steinheimer Becken als doppelten Meteoreinschlag und diesen zugleich als Auslösung für die Uracher Vulkandurchbrüche. Davon, daß neuere Beobachtungen und Überlegungen zu Meteorkratern heute der „phantasiereichen Veröffentlichung“ Kaljuwees (Kranz 1937, S. 201) mehr Gewicht als damals verleihen könnten, ist mir nichts bekannt geworden.

Deutet man das Nördlinger Ries als Meteorkrater, löst es aber aus der Verbindung mit dem Steinheimer Becken, den Uracher Vulkan-Embryonen und allem

anderen, so sieht man sich meines Erachtens zur Annahme des Zusammentreffens mindestens folgender, voneinander unabhängiger Fakten genötigt:

1. Geologische Gleichzeitigkeit mit dem Steinheimer Becken und den Uracher Vulkan-Embryonen, nämlich innerhalb des halben Tortoniums, d. s. $1{,}1 \times 10^6$ a während des Gesamtzeitraumes von Ende des Rotliegenden bis heute, d. s. 250×10^6 a, also im Verhältnis von 0,44 : 100 der Gesamtzeit.

2. Das Ries liegt auf einer Linie mit Steinheimer Becken und Uracher Vulkan-Embryonen; wobei die Abstände gleiche Größenordnung einhalten, 42 bzw. 53 km, und der explosive Charakter in der Reihe Ries — Steinheim — Urach abnimmt.

3. Zusammenfallen der Linie Ries — Steinheim — Urach mit der Haupt-WSW-ONO-Strukturlinie der Süddeutschen Großscholle.

4. Lage des Rieses auf der Haupt-NW-SO-Strukturlinie der Süddeutschen Großscholle.

5. Ries, Steinheimer Becken und Uracher Vulkan-Embryonen sind nicht etwa normale, regional weit verbreitete und während der Formationen oftmals auftretende Phänomene, sondern jedes ist für sich einmalig.

Daß die Fakten unabhängig und zufällig mit einem von außen kommenden Ereignis, wie es ein Meteoreinschlag darstellt, zusammentreffen könnten, wäre nur dann denkbar, wenn sich die Einschläge großer, geologische Spuren hinterlassender Meteore so oft und so dicht ereignen, daß der eine oder andere von ihnen eben auch einmal auf eine geologisch ganz ausgezeichnete Stelle trifft und dies zu einer ebenso ausgezeichneten Zeit. Die Einschläge sind aber äußerst selten; für das Tertiär wären das Steinheimer Becken und das Nördlinger Ries überhaupt die ersten Meteorkrater.

Die hohe Unwahrscheinlichkeit solchen Zusammentreffens voneinander unabhängiger Fakten ist offenbar; sie spricht gegen die Meteordeutung des Rieses. Andererseits kann nach den neuen Erkenntnissen die erforderliche Energie weder von vulkanischen noch von sonstigen bekannten Vorgängen geliefert werden außer von einem Meteoreinschlag. Dieses echte Dilemma scheint mir beim gegenwärtigen Stand der Ries- und der Meteorforschung nicht lösbar; ein Beiseitelassen von Fakten wäre sicher keine Lösung. Es ist vielmehr weitere intensive und vielseitige Arbeit sowohl im Gebiet des Nördlinger Rieses und etwaiger vergleichbarer Gebilde als auch über die Vorkommen von Hochdruckmineralien u. ä. auf der Erde erforderlich.

Bei den Überlegungen zur Energiebilanz wird man die Kimberlitschlote Südafrikas zum Vergleich heranziehen können. Sie entstammen nach allem, was über sie bekannt geworden ist, den Kräften der Tiefe, und zwar großer Tiefe, aber nicht etwa Meteoreinschlägen. Mineralogisch zeichnen sie sich bekanntermaßen dadurch aus, daß in einem Teil der Hunderte von Schloten eine Hochdruckform des Kohlenstoffs, der Diamant, auftritt. Die Kimberlitschlote kommen bevorzugt in einigen Teilen des seit dem Präkambrium konsolidierten Gondwanalandes, Südafrika, Ostafrika, Brasilien, Indien und Australien vor; außerdem

sind sie in Nordamerika nachgewiesen. Auch bei ihnen müssen sich wie beim Ries und bei den Meteorkratern außergewöhnlich hohe Energien ausgewirkt haben.

Schriftenverzeichnis

AMMON, L. v., 1904: Die Bahnaufschlüsse bei Fünfstetten am Ries und an anderen Punkten der Donauwörth-Treuchtlinger Linie. — Geogn. Jh. 1903, **16**, 145—184. München.

BEALS, C. S., M. J. S. INNES & J. A. ROTTENBERG, 1960: The search for fossil meteorite craters. — Current Science **29**, 205—218, 249—262. Bangalore (India). Reprint: Contr. Domin. Observatory Ottawa **4**, No. 4, 1—31.

BENTZ, A., 1924: Dogger und Tektonik der Bopfinger Gegend. — Jb. Oberrhein. geol. Ver. N. F. **13**, 1—45, Stuttgart.

BOON, J. D. & C. C. ALBRITTON, JR., 1938: Established and Supposed Examples of Meteoritic Craters and Structures. — Field & Laboratory **6**, 44—56.

BRANCO, W., 1894—1895: Schwabens 125 Vulkan-Embryonen und deren tufferfüllte Ausbruchsröhren; das größte Maargebiet der Erde. — Jh. Ver. vaterländ. Naturk. Württemberg **50**, 505—997; **51**, 1—337. Stuttgart.

BRANCO, W., 1903: Das vulcanische Vorries und seine Beziehungen zum vulcanischen Riese bei Nördlingen. — Abh. K. Preuß. Akad. Wiss. 1902, 1—132. Berlin.

BRANCA, W. & E. FRAAS, 1907: Die Lagerungsverhältnisse Bunter Breccie an der Bahnlinie Donauwörth—Treuchtlingen und ihre Bedeutung für das Riesproblem. Abh. K. Preuß. Akad. Wiss. 1907, 1—56. Berlin.

BREYER, F., 1956: Ergebnisse seismischer Messungen auf der süddeutschen Großscholle besonders im Hinblick auf die Oberfläche des Varistikums. — Z. deutsch. geol. Ges. **108**, 21—36. Hannover.

BÜCHI, U. & F. HOFMANN, 1945: Spuren vulkanischer Tätigkeit im Tortonium der Ostschweiz. — Eclogae geol. Helv. **38**, 337—343. Lausanne.

CARLE, W., 1943: Der tektonische Charakter der südwestdeutschen Schichtverbiegungen. — Jb. Reichsamt Bodenforsch. 1941, **62**, 400—421. Berlin.

CARLE, W., 1950: Erläuterungen zur Geotektonischen Übersichts-Karte der Südwestdeutschen Großscholle. — 1—32. Stuttgart.

CARLE, W., 1952: Über den Bau der Südwestdeutschen Großscholle. — Z. deutsch. geol. Ges. **103**, 60—67. Hannover.

CHAO, E. C. T., E. M. SHOEMAKER & B. M. MADSEN, 1960: The first natural occurence of coesite from Meteor Crater, Ariz. — Science **132**, 220—222. Lancaster.

CLOOS, H., 1939: Hebung — Spaltung — Vulkanismus. — Geol. Rundschau **30**, 401—527. Stuttgart.

CLOOS, H., 1942: Bau und Tätigkeit von Tuffschloten. Untersuchungen an dem Schwäbischen Vulkan. — Geol. Rundschau **32** (1941), 705—800. Stuttgart.

DEECKE, W., 1925: Das innere System im west- und süddeutschen Thermalphänomen. — Z. deutsch. geol. Ges. **77**, 90—111. Berlin.

DEHM, R., 1931: Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Monheim. — N. Jb. Min. usw. Beil.-Bd. **67** B, 139—256. Stuttgart.

DIETZ, R. S., 1961: Astroblemes. — Scientific American **205**, 50—58. New York.

DORN, P., 1937: Paläogeographie der „Riesbarre". — N. Jb. Min. usw. Beil. Bd. **77** B, 1—44. Stuttgart.

GÜMBEL, C. W. VON, 1891: Geognostische Beschreibung der Fränkischen Alb (Frankenjura) mit dem anstoßenden fränkischen Keupergebiete. — 1—763. Kassel.

KRANZ, W., 1922: Der geologische Aufbau und Werdegang des Nördlinger Rieses. — Rieser Heimatbuch (1.), 25—68. München.

KRANZ, W., 1937a: Steinheimer Becken, Nördlinger Ries und „Meteorkrater". — Petermann's Geogr. Mitt. 1937, 198—202. Berlin.

Kranz, W., 1937 b: Sechste Fortsetzung der Beiträge zum Nördlinger Ries-Problem. — Z.Bl. Min. usw. 1937 B, 215—221. Stuttgart.

Kranz, W., 1937 c: „Krater von Sall" auf Ösel, wahrscheinlich „Meteorkrater". — Gerlands Beitr. Geophys. **51**, 50—55. Leipzig.

Kranz, W., 1938 Beitrag zum Köfels-Problem Die „Bergsturz-Hebungs- und Sprengtheorie". — N. Jb. Min. usw. Beil.-Bd. **80** B, 113—138. Stuttgart.

Kranz, W., 1948: Siebte Fortsetzung der Beiträge zum Nördlinger Ries-Problem. — N. Jb. Min usw. Mh. 1945—1948 B, 336—361. Stuttgart.

Kranz, W., 1949: Achte Fortsetzung der Beiträge zum Nördlinger Riesproblem. — N. Jb. Min. usw. Mh. 1949 B, 154—173. Stuttgart.

Kranz, W., K. C. Berz & F. Berckhemer, 1924: Begleitworte zur Geognostischen Spezialkarte von Württemberg. — Atlasblatt Heidenheim. 1—138. Stuttgart. Mit weiterer geologischer Literatur über das Steinheimer Becken.

Kulp, J. L., 1960: The Geological Time Scale. — Internat. Geol. Congr. Rep. 21st Sess. Norden 1960, **3**, 18—27. Copenhagen.

Lemcke, K., W. v. Engelhardt & H. Füchtbauer, 1953: Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Westteil der ungefalteten Molasse des süddeutschen Alpenvorlandes. — Beih. Geol. Jb. **11**, 1—110. Hannover.

Nathan, H., 1957: Wasserbohrungen im Ries. — Geol. Jb. **74**, 135—146. Hannover.

Neumann, G., 1939: Regionale magnetische Variometermessungen in Südwestdeutschland 1932. — Beitr. angew. Geophys. **8**, 18—44. Leipzig.

Oberdorfer, R., 1905: Die vulkanischen Tuffe des Ries bei Nördlingen. — Jh. Ver. vaterländ. Naturk. Württembg. **61**, 1—40. Stuttgart.

Pavoni, N., 1957: Geologie der Zürcher Molasse zwischen Albiskamm und Pfannenstiel. — Vierteljahresschr. Naturf. Ges. Zürich **102**, Abh. 5, 117—315. Zürich.

Pavoni, N., 1958: Neue Bentonitvorkommen in der Zürcher Molasse. — Eclogae geol. Helv. **51**, 299—304. Zürich.

Pecora, W. T., 1960: Coesite Craters and Space Geology. — Geotimes **5**, 16—19, 32. Washington.

Reich, H., 1955: Geologische Deutung der geophysikalischen Untersuchungen im Ries und Vorries. In Reich ,H. & W. Horrix: Geophysikalische Untersuchungen im Ries und Vorries und deren geologische Deutung. — Beih. Geol. Jb. **19**, 88—112. Hannover.

Rein, U., 1961: Die Möglichkeiten einer pollenstratigraphischen Gliederung des Miocäns in Nordwestdeutschland. — Meyniana **10**, 160—166. Kiel.

Rohleder, H. P. T., 1933: Meteorkrater (Arizona) — Salzpfanne (Transvaal) — Steinheimer Becken. — Z. deutsch. geol. Ges. **85**, 463—468. Berlin.

Schetelig, K., 1960: Geologische Untersuchungen im Ries auf den Kartenblättern Donauwörth und Genderkingen. — Inaug.-Diss. Univ. München (im Druck, 1962).

Schmidt-Kaler, H., 1961: Stratigraphische und tektonische Untersuchungen im Malm des nordöstlichen Riesrahmens. — Geol. Bl. Nordost-Bayern **11**, 190—200. Erlangen.

Schröder, J. & R. Dehm, 1950: Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Harburg. — Abh. Naturwiss. Ver. Schwaben Augsburg **5**, 1—147. Augsburg. Mit weiterer geologischer Literatur über das Nördlinger Ries.

Schuster, M., 1929: Abriß der Geologie von Bayern r. d. Rh. — I—VI, zusammen 834 S. München.

Seibold, E., 1951: Das Schwäbische Lineament zwischen Fildergraben und Ries. — N. Jb. Geol. Pal. Abh. **93**, 285—324. Stuttgart.

Stephan, W., 1952: Ein tortoner vulkanischer Brockhorizont in der Oberen Süßwassermolasse Bayerns. — Geologica Bavarica **14**, 76—85. München.

Stutzer, O., 1936: „Meteor-Crater" (Arizona) und Nördlinger Ries. — Z. deutsch. geol. Ges. **88**, 510—523. Berlin.

Tobien, H., 1954: Eine miozäne Säugerfauna aus vulkanischen Tuffen des Vogelsberges. — Z. deutsch. geol. Ges. **105**, 588. Hannover.

Tobien, H., 1958: Das Alter der Eruptionen am Limberg (Kaiserstuhl). — Z. deutsch. geol. Ges. **110**, 4—5. Hannover.

Wagner, Gg., 1913: Beiträge zur Stratigraphie und Bildungsgeschichte des oberen Hauptmuschelkalk und der unteren Lettenkohle in Franken. — Geol. Pal. Abh. N. F. **12**, 275—452. Jena.

Wagner, Gg., 1956: Vom Schwäbischen Vulkan. — Jh. Ver. vaterländ. Naturk. Württembg. **111**, 108—126. Stuttgart.

Wagner, W., 1960: Geologisch-stratigraphische Untersuchungen in der Südlichen Frankenalb bei Treuchtlingen. — Geol. Bl. Nordost-Bayern **10**, 130—141. Erlangen.